

# EFFECTO ACIDIFICANTE DE LAS TRANSFORMACIONES DE LA UREA EN DOS ANDISOLES DE LA REGION DE LOS LAGOS<sup>1</sup>

## Acidifying effect of urea transformations in two Andisols of the Lake Region

Ricardo Campillo R.<sup>2</sup> y José Rodríguez S.<sup>3</sup>

### SUMMARY

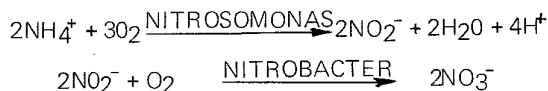
Urea transformations in two Andisol-type soils of the Lake Region of Chile were studied. Urea-treated soils were incubated in order to determine the resulting mineral forms of N, interchangeable Al, and pH. In addition, small plots were used to observe the effects of N applications, as urea and NaNO<sub>3</sub>, upon plant growth.

Results show a fast hydrolysis of urea due to the high urease activity of these soils. Nitrification is temperature dependent, so that the time needed to accomplish this process is reduced to its half when an increase of 10° C occurs. The application of urea ends up in a high acidification, mainly in the Nueva Braunau-type soils. Under certain management conditions, the acidifying effect of urea in some naturally occurring low pH Andisols, might cause a detrimental effect upon productivity of some crops.

### INTRODUCCION

El consumo de urea como fertilizante nitrogenado ha adquirido gran importancia, por tener claras ventajas comparativas en aporte unitario de N, costo, transporte y almacenaje. Sin embargo, al usarse urea y fertilizantes amoniacales, deben considerarse todas sus transformaciones en el suelo.

La urea agregada al suelo es hidrolizada enzimáticamente por la ureasa del suelo, generándose carbonato de amonio, producto muy inestable, el cual se descompone en NH<sub>3</sub> o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y CO<sub>2</sub> (Terman, 1979). Luego que la urea ha sido hidrolizada, su comportamiento en los suelos es similar a cualquier otra forma de N amoniacal. El NH<sub>3</sub> puede perderse como gas y el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> es absorbido por el complejo inorgánico coloidal o es nitrificado:



Como el proceso de nitrificación por sí solo genera acidez, pueden manifestarse cambios en el pH de suelos de baja capacidad amortiguadora, especialmente en zonas de activa nitrificación (Broadbent, 1978).

El efecto acidificante en el suelo originado por el empleo de fertilizantes nitrogenados, particularmente los amoniacales y urea, ha sido ampliamente establecido (Fassbender, 1975; Fox y Hoffman, 1981). Por otra parte, en suelos con pH alrededor de 5, el efecto acidificante puede inducir fitotoxicidad por Al y Mn (Foy, 1974; Matsuda y otros, 1979; Siman y otros, 1971).

Considerando la importancia que tienen los Andisoles en Chile, por su potencial productivo y superficie ocupada, junto con varias observaciones realizadas en algunos Andisoles de la X Región, que indican un efecto depresivo de la urea sobre algunos cultivos, se realizó el siguiente estudio.

Los objetivos principales fueron estudiar el proceso de transformación de la urea en Andisoles de la X Región, caracterizando y cuantificando su efecto acidificante y su influencia sobre el crecimiento vegetal.

<sup>1</sup> Recepción de originales: 17 de agosto de 1983.

Parte de la tesis presentada por el primer autor a la Facultad de Agronomía, U. Católica de Chile, para optar al grado de "Magister Scientiae"

<sup>2</sup> Estación Experimental Carillanca (INIA), Casilla 58-D, Temuco, Chile.

<sup>3</sup> Facultad de Agronomía, U. Católica de Chile, Casilla 114-D Santiago, Chile.

## MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron muestras superficiales (0–20 cm) de dos Andisoles de la X Región, correspondientes a las series Osorno (Typic Dystrandept) y Nueva Braunau (Typic Hydrandept). Se recolectaron en otoño de 1980, en praderas naturales, sin fertilización, guardándose húmedas en bolsas plásticas.

### Transformaciones de la urea en incubación de laboratorio

Se colocó el equivalente a 40 g de cada suelo seco, tamizado a 2 mm, en frascos de plástico, junto con la urea en solución, para llevar el suelo a capacidad de campo. La urea se aplicó en dosis de 100 y 200 ppm de N, incubándose las muestras a 10° y 20° C durante distintos períodos de tiempo (1 - 3 - 7 - 15 - 21 - 30 - 60 y 90 días). Luego de cada período se determinaron las cantidades de N presentes como urea (Douglas y Bremner, 1970) y  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$  en el suelo (Bremner y Keeney, 1966). Además se determinó el contenido de Al intercambiable (Brauner, Catani y Bittencourt, 1966) y pH del suelo (Saavedra, 1975). Cada tratamiento constó de cuatro repeticiones y se incubaron muestras de suelo sin urea (testigo). La diferencia cuantitativa de las formas de N mineral entre muestras con y sin aplicación de urea, en cada período de incubación, correspondió a las formas minerales de N resultantes de las transformaciones de la urea.

### Experimento de invernadero

Se utilizaron macetas de plástico, conteniendo 2 kg de cada suelo (base peso seco) ya tamizado a 5 mm y con una adecuada fertilización básica de P y K, previo a la siembra de avena cv. Zeta.

Luego de la emergencia de plántulas de avena, en ambos suelos se probaron dos fuentes de N (Urea y  $\text{NaNO}_3$ ), en dosis de 300 ppm de N, en solución, por maceta. Se consideró como tratamiento testigo la aplicación de urea con igual dosis de N, pero sin plantas de avena, en ambos suelos. Cada tratamiento constó de tres repeticiones, cosechándose las plantas de avena al cabo de 42 días. Durante el ciclo vegetativo considerado, se muestreó periódicamente el suelo para determinaciones de pH, N disponible ( $\text{NH}_4^+$  +  $\text{NO}_3^-$ ) y Al intercambiable. El material cosechado se secó a 65° C, durante 48 horas, en estufa con circulación forzada de aire, se molió y determinó N total por el método Kjeldahl (Saavedra, 1975). A partir de las cenizas vegetales, se determinó Al por el método colorimétrico del aluminón (Sarruge y Haag, 1974) y Mn por espectrofotometría de absorción atómica (Saavedra, 1975).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Hidrólisis y mineralización de la urea

Para estudiar la hidrólisis de la urea, se incubó el suelo Nueva Braunau a 20° C, tratado con 200 ppm de N-urea. En la Figura 1 se observa la velocidad de este proceso, que culmina luego de 12 horas de incubación. La hidrólisis de la urea puede considerarse como una reacción de primer orden, dada la relación lineal observada en la Figura 1, coincidiendo con observaciones indicadas por Giroux y Carrier (1981) y Sankhayan y Shukla (1976). La tasa de hidrólisis observada en estos Andisoles expresa la gran actividad ureásica que poseen, dado sus elevados contenidos de materia orgánica (Borie y Fuentealba, 1982). Covarrubias (1978) indica que, luego de un día de incubación, ya se ha hidrolizado el 93% de la urea aplicada en un suelo Vilcún (Andisol).

El efecto de la temperatura (10° y 20° C) y dosis de urea (100 y 200 ppm N) sobre la tasa de mineralización de N-urea en ambos suelos, se presenta en las figuras 2 y 3. En líneas generales, la mineralización en ambos suelos es similar, para una misma dosis y temperatura. La dinámica de este proceso de mineralización está estrechamente relacionada con la temperatura. De esta manera, a 10° C el proceso de nitrificación del N-urea culmina a los 30 días, mientras que a 20° C, dada la mayor velocidad de reacción, se requiere de sólo 15 días, es decir, la mitad del tiempo. Una relación similar encuentran Holland y Doring (1977), en un Andisol bajo condiciones de campo en Nueva Zelanda.

Los valores de las tasas de mineralización del N-urea (Cuadro 1) reflejan claramente el efecto de la temperatura. Así, un aumento de 10° C duplica la tasa de mineralización para cada dosis de urea aplicada, siendo de igual magnitud en ambos suelos. Lo mismo se observa al expresar la tasa de mineralización en función de la dosis de urea aplicada. En ambos suelos y con ambas dosis, un incremento de 10° C eleva esta relación de 0,033 a 0,067 kg de N mineralizado/día/kg N agregado. Se ha establecido que la cantidad de nitratos producidos aumenta al elevarse la temperatura, dentro de un rango biológicamente tolerable (Broadbent, 1978). Sabey y otros (1956) observan una relación lineal entre temperatura y la tasa de nitrificación en el rango entre 8 y 25° C.

### Variaciones del pH y Al intercambiable

Las variaciones del pH están asociadas directamente a las transformaciones de la urea en los suelos. Independientemente de la dosis de urea y temperatura de incubación, se observan tendencias similares en los cambios de pH de ambos suelos (figuras 4 y 5). La variación del pH es consecuencia de la fuerte producción

**CUADRO 1. Efecto de la dosis de urea y la temperatura de incubación sobre las tasas de mineralización de N**

**TABLE 1. Effect of urea level and incubation temperature over the N mineralization rates**

Suelo	Dosis urea (kg N/ha) <sup>1</sup>			
	100		200	
	10° C	20° C	10° C	20° C
Tasa de mineralización (kg N/día)				
Osorno	3,33	6,67	6,67	13,33
Nueva Braunau	3,33	6,67	6,67	13,33
kg N mineralizado/día/kg N agregado				
Osorno	0,033	0,067	0,033	0,067
Nueva Braunau	0,033	0,067	0,033	0,067

<sup>1</sup> Expresadas en su equivalencia agronómica aproximada, para fines comparativos.

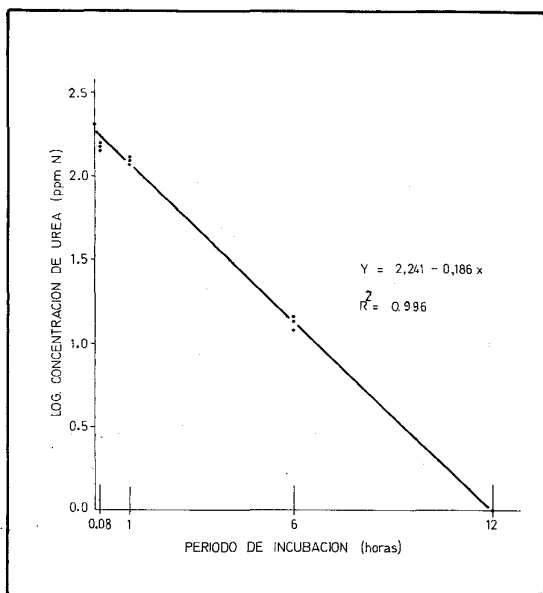


FIGURA 1. Tasa de hidrólisis de la urea.

FIGURE 1. Hydrolysis rate of urea.

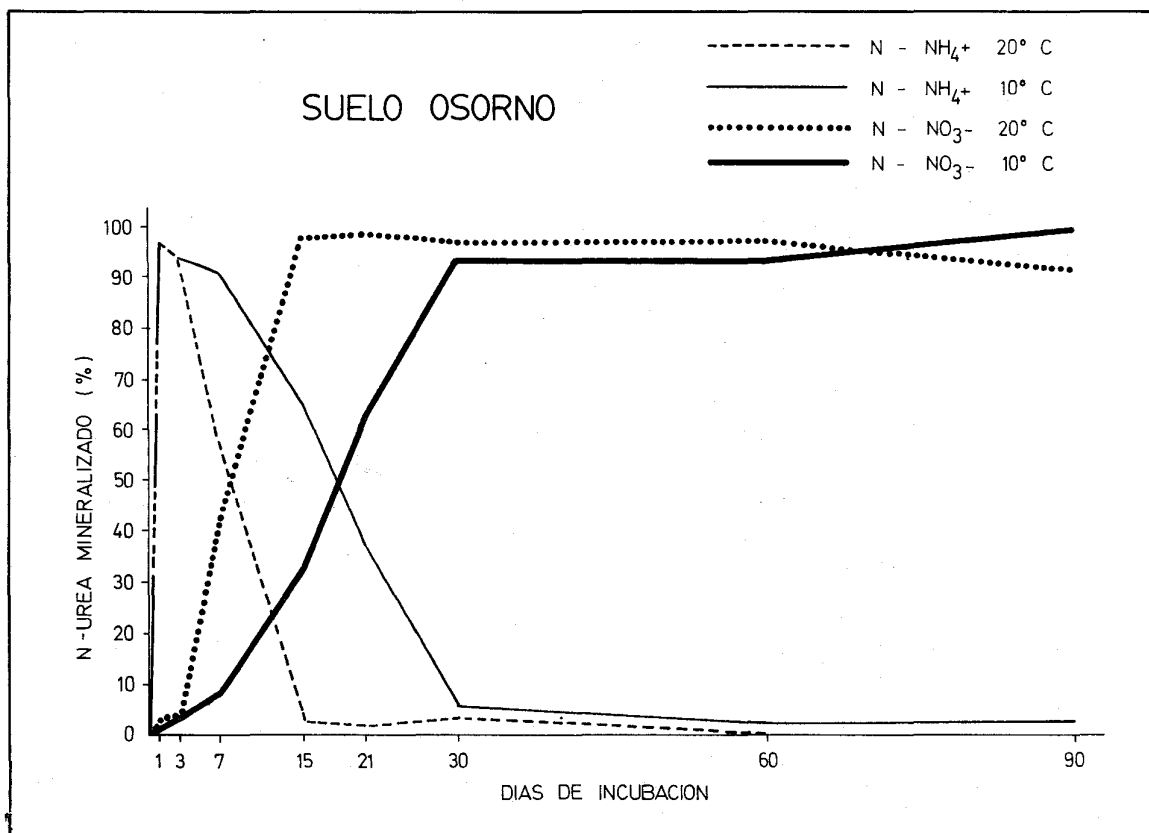


FIGURA 2. Transformaciones de la urea (100 ppm N) en el suelo Osorno a 10 y 20° C.

FIGURE 2. Urea transformations (100 ppm N) in the Osorno soil at 10 and 20° C.

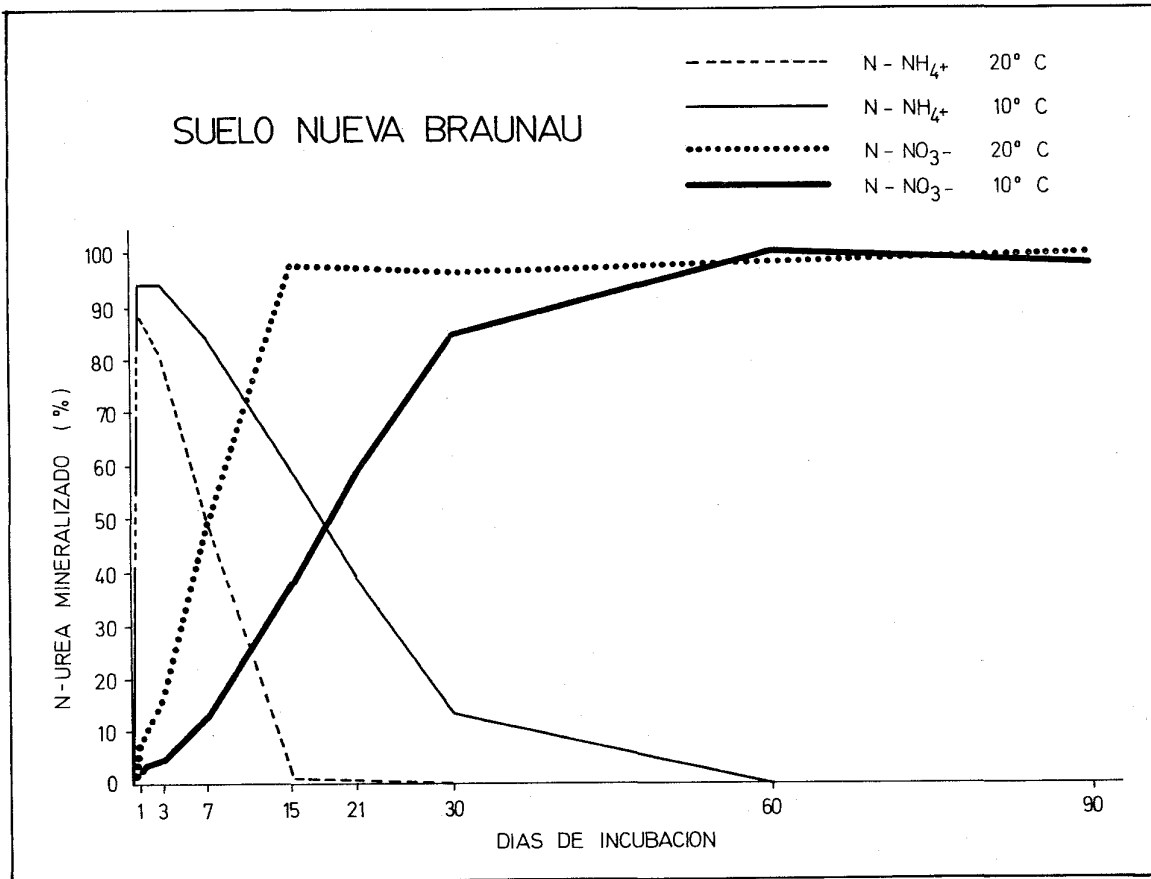


FIGURA 3. Transformaciones de la urea (200 ppm N) en el suelo Nueva Braunau a 10 y 20°C.  
 FIGURE 3. Urea transformations (200 ppm N) in the Nueva Braunau soil at 10 and 20°C.

de bases, resultante de la hidrólisis de la urea, y de la posterior acidificación ocasionada por la oxidación del  $\text{NH}_4^+$ , estabilizándose finalmente los valores en 0,5 a 0,7 unidades de pH por debajo de los originales, en ambos suelos.

La actividad del Al intercambiable de ambos suelos muestra similar tendencia de variación, aunque en distintos rangos de la escala. Esta actividad adquiere importancia cuando los valores de pH caen bajo los originales. La mayor dosis de urea produce el máximo incremento de pH, al primer día de incubación, y origina los valores más bajos de pH, al término de la incubación. Esto condiciona que siempre los mayores contenidos de Al intercambiable se produzcan con la aplicación de 200 ppm de N-urea. Como las fluctuaciones del pH son una consecuencia directa de la mineralización de N-urea, la culminación de esta última determina, a su vez, la estabilización relativa de los valores de pH. De esta manera, a 10°C los niveles de pH se estabilizan alrededor de los 30 días, mientras

que a 20°C, lo hacen cercano a los 15 días. Una situación similar se observa en las fluctuaciones del Al intercambiable, dada la inversa relación existente con las variaciones de pH en ambos suelos. Por ello, la variación y estabilización de los contenidos de Al intercambiable son más rápidas a 20°C, aparte que los valores alcanzados son superiores, también, para ambas dosis de urea.

Fassbender (1975) señala que, bajo condiciones de fuerte acidez, aumenta la proporción de Al en la cubierta del complejo de cambio paralelamente a la de  $\text{H}^+$ , incrementando las concentraciones de estos elementos en la solución del suelo. A su vez, Bernier (1977), trabajando con estos mismos suelos (Osorno y Nueva Braunau), también observa esta relación inversa entre pH y Al intercambiable.

De la comparación de ambos suelos se desprende una mayor fluctuación de valores de pH y de Al intercambiable en el suelo Nueva Braunau, lo que estaría refle-

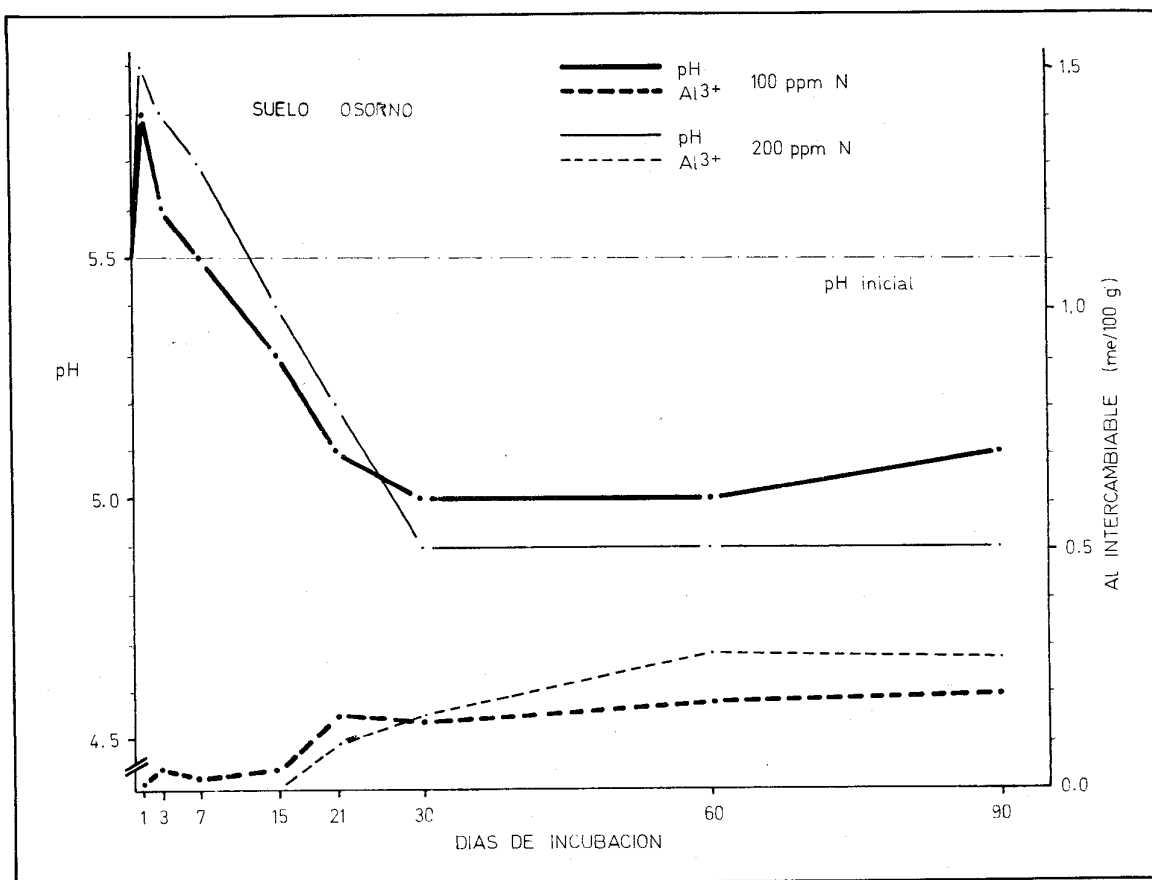


FIGURA 4. Efecto de la urea sobre el pH y el contenido de Al intercambiable del suelo Osorno a 10° C.  
 FIGURE 4. Effect of urea on the pH and the interchangeable Al content in the Osorno soil at 10° C.

jando cierta diferencia de poder tampón entre ambos suelos. Esta diferencia también ha sido señalada por Bernier (1977). La mayor cantidad de bases que exhibe el suelo Osorno (Cuadro 2) podría explicar el mayor poder tampón de este suelo respecto al Nueva Braunau.

#### CUADRO 2. Caracterización físico-química de los suelos

TABLE 2. Physic-chemical characterization of soils

Análisis	Osorno	Nueva Braunau
Arcilla (o/o)	38,00	28,00
Materia Orgánica (o/o)	15,30	20,00
CIC CaCl <sub>2</sub> pH 5,2 (me/100 g)	15,70	7,10
Σ cationes int. (me/100 g)	13,31	3,13
pH agua (1: 2,5)	5,50	5,00
Al interc. (me/100 g)	0,10	1,02

#### Efecto sobre las plantas

El Cuadro 3 muestra la respuesta de las plantas de avena a la aplicación de 300 ppm de urea y NaNO<sub>3</sub>. Se observa que el suelo Osorno exhibe valores de producción de materia seca significativamente superiores al suelo Nueva Braunau, con ambas fuentes de N. Por otra parte, la aplicación con NaNO<sub>3</sub> es significativamente superior a la de urea en ambos suelos. Cabe señalar que la aplicación de urea al suelo Nueva Braunau resulta claramente deprimente para la producción de materia seca.

El NaNO<sub>3</sub>, a pesar de ser una sal neutra, es fisiológicamente básica y, por ello, reduce en alguna medida la acidez del suelo. Dicho efecto explicaría la notoria disminución de la actividad del Al, particularmente del suelo Nueva Braunau, y su influencia en las producciones de materia seca.

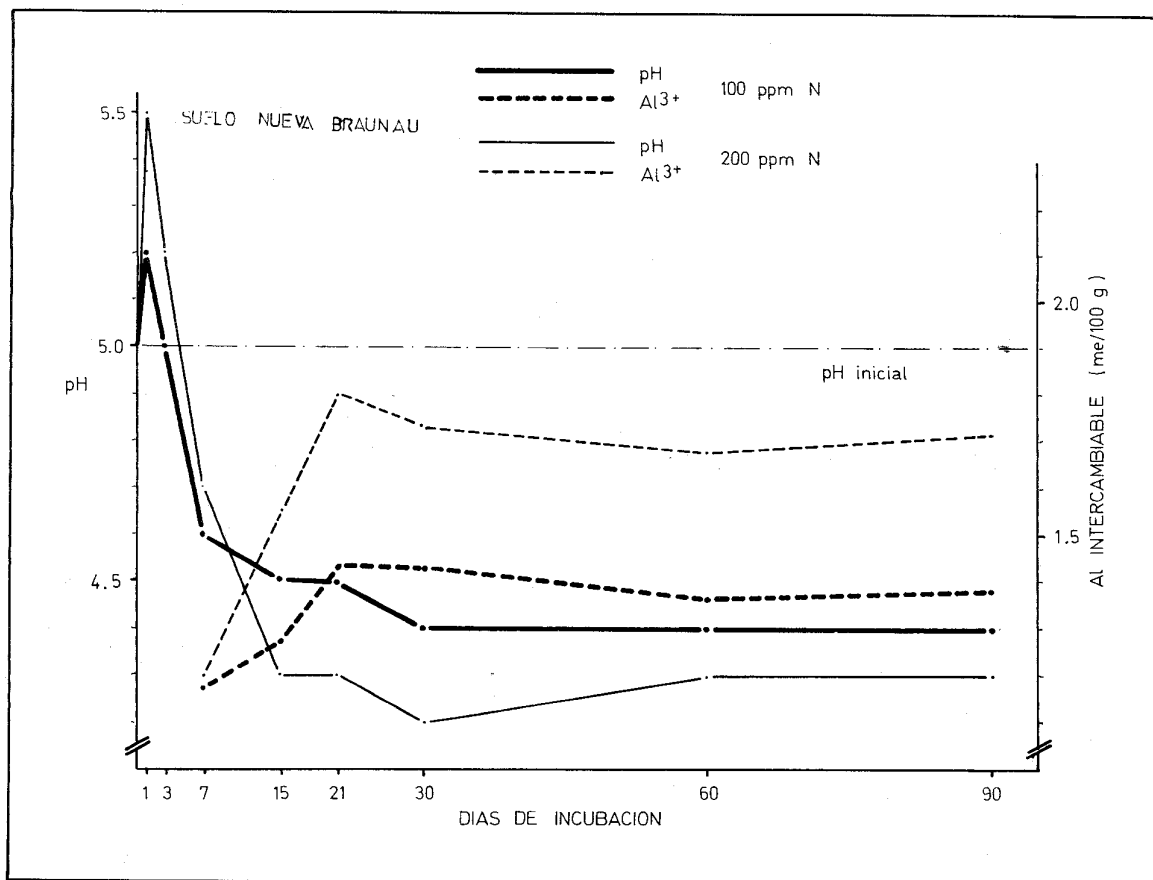


FIGURA 5. Efecto de la urea sobre el pH y el contenido de Al intercambiable del suelo Nueva Braunau a 20° C.

FIGURE 5. Effect of urea on the pH and the interchangeable Al content in the Nueva Braunau soil at 20° C.

**CUADRO 3. Efecto de la urea y NaNO<sub>3</sub> en la producción de materia seca, pH y Al intercambiable final (42 días)**

TABLE 3. Effect of urea and NaNO<sub>3</sub> in the dry matter production, pH and final interchangeable Al (42 days)

Tratamientos	pH	Al me/100 g	Materia Seca g/maceta
Suelo Osorno			
Urea	5,60	0,17	14,48
NaNO <sub>3</sub>	6,20	0,10	18,68
Suelo Nueva Braunau			
Urea	4,70	1,17	2,73
NaNO <sub>3</sub>	6,10	0,24	9,01
D.M.S. (0,05)			1,17

El efecto de la aplicación de urea es diferente. De acuerdo a lo observado en la incubación de estos suelos a 20° C, luego de 15 días la urea ya se ha transformado a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, con la consiguiente acidificación del ambiente radicular. La desigual magnitud de fluctuación del pH en ambos suelos podría atribuirse a la distinta capacidad tampón ya señalada. Aproximadamente, desde los 15 días ocurre una disminución de la acidez, principalmente en el suelo Osorno, que estaría influenciada por la extracción de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por las plantas de avena (Smiley, 1974). Además, los contenidos de Al intercambiable del suelo Osorno son bajos, coincidiendo así con niveles de pH por sobre el valor inicial. En cambio, el incremento en la actividad del Al que manifiesta el suelo Nueva Braunau, se ajusta a la acidez desarrollada por la urea en este suelo. Dicha actividad del Al, junto a la del Mn, explicaría la clara

sinomatología de toxicidad apreciada en las plantas de avena desde sus inicios. Esta se caracterizó por una clorosis generalizada, reducido crecimiento, escaso vigor y ápices de láminas de color rojizo y necrosadas.

Por otra parte, en los contenidos de Al en la parte aérea de las plantas de avena (Cuadro 4) no se observan diferencias significativas para los tratamientos de ambos suelos, ya que el Al tiende a acumularse en las raíces (MacLeod y Jackson, 1965).

Sin embargo, en el caso del Mn la situación es diferente. Claramente es el tratamiento de urea del suelo Nueva Braunau el que exhibe los mayores contenidos de Mn, coincidiendo así con los síntomas de toxicidad analizados anteriormente. Es decir, el efecto acidificante generado por la urea aplicada, manifiesta su influencia nociva para las plantas de avena a través de la fitotoxicidad producida por el Mn (Siman y otros, 1971; Vlamis y Williams, 1973) y probablemente por el Al en el sistema radicular (Naidoo, Steward y Lewis, 1978).

### CONCLUSIONES

Los suelos Osorno y Nueva Braunau muestran elevadas tasas de hidrólisis de urea, proceso que se asimila a una reacción de primer orden, y que culmina antes de un día de incubación. La dinámica de la mineralización del N—urea está condicionada por la temperatura. De esta manera, la nitrificación del N—urea en ambos Andisoles a 20° C culmina alrededor de los 15 días, mientras que a 10° C requiere de 30 días.

### RESUMEN

Se estudian las transformaciones de la urea en dos Andisoles de la Región de Los Lagos. Para ello, se incuban los suelos tratados con urea y se determinan las formas minerales de N, Al intercambiable y pH. Por otra parte, se estudian en macetas los efectos de aplicaciones de urea y NaNO<sub>3</sub> sobre el crecimiento vegetal.

Los resultados muestran una alta tasa de hidrólisis de la urea, por la gran actividad ureásica de estos suelos. La temperatura condiciona la nitrificación, de manera

**CUADRO 4. Contenidos de Al y Mn foliar de plantas de avena (ppm)**

**TABLE 4. Leaf Al and Mn contents in oat plants (ppm)**

Tratamientos	Contenidos foliares a los 42 días	
	Al	Mn
Suelo Osorno		
Urea	104,50	164,33
NaNO <sub>3</sub>	106,50	118,67
Suelo Nueva Braunau		
Urea	103,50	385,33
NaNO <sub>3</sub>	106,60	129,33
D.M.S. (0,05)	N.S.	15,03

Las tasas de mineralización del N—urea de ambos Andisoles son similares para cada temperatura de incubación, duplicándose éstas con un incremento de 10° C (Q<sub>10</sub> = 2), en cada dosis de urea.

El efecto acidificante de la urea generado por sus transformaciones en el suelo, principalmente en el Nueva Braunau, ejerce un efecto deprimente sobre el crecimiento vegetal. Ello se expresa con un aumento en la disponibilidad del Al y Mn, alcanzando así concentraciones tóxicas para las plantas.

La existencia en la zona sur de algunos Andisoles que en forma natural presentan valores de pH ácido (alrededor de 5), reafirma la importancia de la acidificación inducida por la urea en dichos Andisoles.

que un aumento de 10° C reduce a la mitad el tiempo necesario para que culmine dicho proceso. La aplicación de urea provoca una fuerte acidificación, principalmente del suelo Nueva Braunau.

En algunos Andisoles que presentan pH natural ácido, bajo ciertas condiciones de manejo (cultivo anterior, época, forma de aplicación y dosificación del fertilizante), la acción acidificante de la urea puede producir un efecto deprimente en la productividad de algunos cultivos.

## LITERATURA CITADA

- BERNIER, V.R. 1977. Efectos del encalado en la productividad de dos suelos volcánicos del Sur de Chile. Tesis Magister, U. Católica de Chile. 100 p.
- BORIE, F. y FUENTEALBA, S.P. 1982. Bioquímica de suelos derivados de cenizas volcánicas. II. Actividad ureásica. *Agricultura Técnica (Chile)* 42(2): 135–142.
- BRAUNER, J.L., CATANI, R.A. e BITTENCOURT, W.C. 1966. Extracção e determinação do alumínio trocável do solo. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"* 23: 53–73.
- BREMNER, J.M. and KEENEY, D.R. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. 3. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction–distillation methods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30(5): 577–582.
- BROADBENT, F.E. 1978. Mineralization, immobilization and nitrification. En: Pratt, P.F. (ed). *Management of N in irrigated agriculture*. p: 109–134.
- COVARRUBIAS, P.L. 1978. Transformaciones de la urea en el suelo y volatilización de amoníaco. Tesis Ing. Agr. Universidad Católica de Chile. Santiago. 72 p.
- DOUGLAS, L.A. and BREMNER, J.M. 1970. Extraction and colorimetric determination of urea in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34(6): 859–862.
- FASSBENDER, H.W. 1975. Química de Suelos: énfasis en suelos de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA. 398 p.
- FOX, R.H. and HOFFMAN, L.D. 1981. The effect of N fertilizer source on grain yield, N uptake, soil pH, and lime requirement in no–till corn. *Agron. J.* 73(5): 892–895.
- FOY, C.D. 1974. Effects of aluminum on plant growth. En: Carson, E.W. (ed). *The plant root and its environment*. Univ. Press of Virginia, Charlottesville. p. 601–642.
- GIROUX, M. et CARRIER, D. 1981. Evolution de l'urea placée en bandes dans deux soils acides du Quebec. *Can. J. Soil Sci.* 61(4): 561–570.
- HOLLAND, P.T. and DURING, C. 1977. Movement of nitrate–N and transformations of urea–N under field conditions. *N.Z.J. of Agric. Res.* 20(4): 479–488.
- MAC LEOD, L.B. and JACKSON, L.P. 1965. Effect of concentration of the aluminum ion on root development and establishment of legume seedlings. *Can. J. Soil Sci.* 42(2): 221–234.
- MATSUDA, K., KONISHI, S. KOBAYASHI, A.A., BABA, M. and MURAMATSU, K. 1979. Effects of aluminum on growth and on mineral–nutrient absorption in tea plants. *Soil Sci. and Pl. Nutr.* 25(3): 463–464.
- NAIDOO, G., STEWART, McD. and LEWIS, R.J. 1978. Accumulation sites of Al in snapbean and cotton root. *Agron. J.* 70(3): 489–492.
- SAAVEDRA, N. 1975. Manual de Análisis de Suelo. Laboratorio de Suelos, Facultad de Agronomía, U. Católica de Chile. Publicación Nº 16. 64 p.
- SABEY, B.R., BARTHOLOMEW, W.V., SHAW, R. and PESEK, J. 1956. Influence of temperature on nitrification in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 20(3): 357–360.
- SANKHAYAN, S.D. and SHULKA, U.C. 1976. Rates of urea hydrolysis in five soils of India. *Geoderma* 16: 171–178.
- SARRUGE, J.R. e HAAG, H.P. 1974. Análisis químico em plantas. Departamento de Química, Sector de Nutrición Mineral de Plantas. Escola Superior de Agricultura. "Luiz de Queiroz". 56 p.
- SIMAN, A., CRADOCK, F.W., NICHOLLS, P.J. and KIRTON, H.C. 1971. Effects of calcium carbonate and ammonium sulphate on manganese toxicity in an acid soil. *Aust. J. Agric. Res.* 22(2): 201–214.
- SMILEY, R.W. 1974. Rhizosphere pH as influenced by plants, soils, and nitrogen fertilizers. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38(5): 795–799.
- TERMAN, G.L. 1979. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface–applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. En: Brady, N.C. (ed) *Adv. Agron.* 31: 189–223.
- VLAMIS, J. and WILLIAMS, D.E. 1973. Manganese toxicity and marginal chlorosis of lettuce. *Plant and Soil* 39(3): 245–251.